

# 中华人民共和国国家军用标准

FL 0109

GJB 150.25A-2009

代替 GJB 150.25-1992

## 军用装备实验室环境试验方法 第 25 部分：振动—噪声—温度试验

Laboratory environmental test methods for military materiel—  
Part 25: Vibro-acoustic/temperature test

2009-05-25 发布

2009-08-01 实施

中国人民解放军总装备部 批准

目 次

前言.....II

1 范围.....1

2 引用文件.....1

3 目的与应用.....1

3.1 目的.....1

3.2 应用.....1

3.3 限制.....2

4 剪裁指南.....2

4.1 选择试验方法.....2

4.2 选择试验程序.....5

4.3 确定试验条件.....5

4.4 试件的技术状态.....5

5 信息要求.....6

5.1 试验前需要的信息.....6

5.2 试验中需要的信息.....6

5.3 试验后需要的信息.....6

6 试验要求.....7

6.1 试验设备.....7

6.2 试验控制.....8

6.3 试验中断.....10

6.4 数据分析.....10

7 试验过程.....10

7.1 试验准备.....10

7.2 试验前的检查.....10

7.3 试验装置和循环检查程序.....11

7.4 试验程序.....11

8 结果分析.....12

附录 A （规范性附录） 试验基本原理——振动—噪声—温度试验剖面制定.....13

A.1 范围.....13

A.2 试验剖面制定.....13



## 前 言

GJB 150《军用装备实验室环境试验方法》分为 28 个部分:

- a) 第 1 部分: 通用要求;
- b) 第 2 部分: 低气压(高度)试验;
- c) 第 3 部分: 高温试验;
- d) 第 4 部分: 低温试验;
- e) 第 5 部分: 温度冲击试验;
- f) 第 7 部分: 太阳辐射试验;
- g) 第 8 部分: 淋雨试验;
- h) 第 9 部分: 湿热试验;
- i) 第 10 部分: 霉菌试验;
- j) 第 11 部分: 盐雾试验;
- k) 第 12 部分: 砂尘试验;
- l) 第 13 部分: 爆炸性大气试验;
- m) 第 14 部分: 浸渍试验;
- n) 第 15 部分: 加速度试验;
- o) 第 16 部分: 振动试验;
- p) 第 17 部分: 噪声试验;
- q) 第 18 部分: 冲击试验;
- r) 第 20 部分: 炮击振动试验;
- s) 第 21 部分: 风压试验;
- t) 第 22 部分: 积冰/冻雨试验;
- u) 第 23 部分: 倾斜和摇摆试验;
- v) 第 24 部分: 温度-湿度-振动-高度试验;
- w) 第 25 部分: 振动-噪声-温度试验;
- x) 第 26 部分: 流体污染试验;
- y) 第 27 部分: 爆炸分离冲击试验;
- z) 第 28 部分: 酸性大气试验;
- aa) 第 29 部分: 弹道冲击试验;
- bb) 第 30 部分: 舰船冲击试验。

本部分为 GJB 150 的第 25 部分, 代替 GJB 150.25-1992《军用设备环境试验方法 振动-噪声-温度试验》。

本部分与 GJB 150.25-1992 相比, 主要变化如下:

- a) 删除了 GJB 150.25-1992 中的“试验条件”, 把相应内容归到附录 A; 增加本试验的必要性和其他试验之间的顺序、试验程序、试验条件和量级的剪裁指南;
- b) 增加了附录 A(规范性附录);
- c) 增加了对试验信息的要求; 把“应记录的资料”扩充为“信息要求”;
- d) 引入“出现时间的比例”, 代替 GJB 150.25-1992 中的“频数”。

本部分附录 A 是规范性附录。

本部分由中国人民解放军总装备部电子信息基础部提出。

本部分起草单位：航天科技集团一院 702 所、航天科技集团五院 511 所、航空 601 所、中国航天标准化研究所。

本部分主要起草人：李宪珊、夏益霖、刘 斌、李声远、向树红、朱广荣、张小达。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

GJB 150.25—1992。



# 军用装备实验室环境试验方法

## 第 25 部分：振动—噪声—温度试验

### 1 范围

本部分规定了军用装备实验室振动—噪声—温度试验的目的与应用、剪裁指南、信息要求、试验要求、试验过程和结果分析的内容。

本部分适用于对军用装备进行振动—噪声—温度试验。

### 2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本部分的条款。凡注日期或版次的引用文件，其后的任何修改单(不包括勘误的内容)或修订版本都不适用于本部分，但提倡使用本部分的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡不注日期或版次的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GJB 150.1A-2009	军用装备实验室环境试验方法	第 1 部分：通用要求
GJB 150.2A-2009	军用装备实验室环境试验方法	第 2 部分：低气压(高度)试验
GJB 150.3A-2009	军用装备实验室环境试验方法	第 3 部分：高温试验
GJB 150.4A-2009	军用装备实验室环境试验方法	第 4 部分：低温试验
GJB 150.5A-2009	军用装备实验室环境试验方法	第 5 部分：温度冲击试验
GJB 150.9A-2009	军用装备实验室环境试验方法	第 9 部分：湿热试验
GJB 150.15A-2009	军用装备实验室环境试验方法	第 15 部分：加速度试验
GJB 150.16A-2009	军用装备实验室环境试验方法	第 16 部分：振动试验
GJB 150.17A-2009	军用装备实验室环境试验方法	第 17 部分：噪声试验
GJB 150.18A-2009	军用装备实验室环境试验方法	第 18 部分：冲击试验
GJB 150.20A-2009	军用装备实验室环境试验方法	第 20 部分：炮击振动试验
GJB 150.24A-2009	军用装备实验室环境试验方法	第 24 部分：温度—湿度—振动—高度试验
GJB 150.27-2009	军用装备实验室环境试验方法	第 27 部分：爆炸分离冲击试验
GJB 899-1990	可靠性鉴定和验收试验	
GJB 1172-1991	军用设备气候极值	
GJB 4239	装备环境工程通用要求	

### 3 目的与应用

#### 3.1 目的

进行振动—噪声—温度试验是为了确定在挂飞期间振动、噪声和温度对飞机外挂的综合作用的效应。这类试验可用于(但不局限于)下列目的：

- 暴露和修改设计薄弱环节(试验、分析和改进设计)；
- 确定设计是否满足规定的可靠性要求(可靠性验证试验)；
- 在产品出厂之前，暴露工艺或部件缺陷(筛选试验)；
- 基于产品小子样试件的故障时间，估计批量产品的平均故障间隔时间 MTBF(抽样验收试验)；
- 基于产品小子样试件的故障时间，确定产品之间的相对可靠性(产品来源比较试验)。

#### 3.2 应用

本试验主要用于测试外挂内部的电子设备和其他机电设备在振动—噪声—温度环境下的功能。作为



试验的附加效应, 温度变化可能导致外挂湿度应力改变, 当解释试验结果的数据时, 应注意这类应力的效应。典型的应用包括:

- a) 外挂在研制阶段的可靠性增长;
- b) 外挂可靠性指标的评估;
- c) 制造厂商在生产期间的产品筛选;
- d) 交付之前批量接收的判定;
- e) 两种不同来源的产品质量相对差异的判定。

### 3.3 限制

本试验的限制如下:

- a) 本试验不包括外挂或其任何独立部件功能的环境设计鉴定试验。对于这类试验, 见 GJB 150.2A-2009、GJB 150.3A-2009、GJB 150.4A-2009、GJB 150.5A-2009、GJB 150.9A-2009、GJB 150.15A-2009、GJB 150.16A-2009、GJB 150.17A-2009、GJB 150.18A-2009、GJB 150.27-2009 和 GJB 150.24A-2009。
- b) 本试验不包括外挂构架或其他结构部件的结构完整性的环境设计鉴定试验。
- c) 本试验仅包括与可靠性试验有关的振动、噪声和温度综合环境试验, 不包括满足寿命期环境剖面要求的任何环境试验。

## 4 剪裁指南

### 4.1 选择试验方法

#### 4.1.1 概述

分析有关技术文件的要求, 应用装备(产品)订购过程中实施 GJB 4239 得出的结果, 确定装备寿命期内振动-噪声-温度综合环境出现的阶段, 根据下列环境效应确定是否需要进行本试验。当确定需要进行本试验, 且本试验与其他环境试验使用同一试件时, 还需确定本试验与其他试验的先后顺序。

#### 4.1.2 环境效应

##### 4.1.2.1 振动-噪声-温度环境的效应

振动、噪声和温度综合效应可包括这些因素单独引起的所有效应(见 GJB 150.16A-2009、GJB 150.17A-2009 和 GJB 150.24A-2009)。另外, 温度变化导致的湿度应力增加可能产生的效应参见 GJB 150.3A-2009、GJB 150.4A-2009、GJB 150.5A-2009 和 GJB 150.9A-2009。振动、噪声和温度综合环境可能相互影响, 产生在任何单一环境或较少的环境综合中不出现的效应。在下面讨论中指出了适用于本试验的重要的效应机理。

##### 4.1.2.2 环境应力的相对重要性

并非所有的环境应力对装备的退化或失效有同等的作用。对作用于外挂的飞机环境应力引起的使用故障分析表明, 引起故障的四种最重要的应力如下:

- a) 挂飞产生的工作载荷;
- b) 温度;
- c) 振动;
- d) 湿度。

##### 4.1.2.3 其他环境应力

对于特定的装备, 考虑所包含的其他环境应力可能是重要的。通常, 不宜包含很少出现的极限应力, 这些极限应力宜用单一环境试验考核。对于单独的应力, 判定的一般准则是, 若应力“出现时间的比例”(FTO) 小于总时间(规定为外挂平均故障间隔时间 MTBF)的 10%, 则可认为该条件不足以包含在本试验中。在估算出现时间的比例时, 应考虑服役使用过程中的所有环境, 并采用较严酷的环境。对于某一应力值, 将 FTO 定义为外挂在该应力环境作用下的时间与总观察时间(外挂的平均故障间隔时间)之比。



应力发生的概率与某一应力过程将要出现的概率有关，而可能与特定的时间间隔无直接的关系。FTO 可用于提供应力概率分布的估计值，且更为准确。例如：如果应力条件是在外挂上一点的加速度的绝对值，其值大于 5g，则从规定的时间间隔内自谱密度估计中容易确定出现时间的比例。这表示一个平稳高斯时间历程，其均值为零，标准偏差等于自谱密度估计以内面积的平方根。出现的概率与超过 5g 的次数有关，但从一次出现到下一次出现，大于 5g 的总时间可能变化，这取决于自谱密度估计中的差异，并与每个平稳高斯自谱密度估计的持续时间有关。

4. 1. 2. 4 工作

任何装备的工作都能产生引起故障的应力。对于飞机外挂，工作一般意味着提供满载电功率，并产生热、电磁和电化应力。负载循环(开/关)、低电压和高电压、电源波动和电压尖峰脉冲也可能是重要的应力。即使当工作应力可以忽略时，为了检查存在的故障，仍应在试验中运转装备。许多温度引起的故障和某些振动引起的故障是可逆的，至少在初期如此。当试验继续进行，可逆的故障往往变为不可逆。因此，常在环境应力条件下进行功能测试。

4. 1. 2. 5 温度

4. 1. 2. 5. 1 概述

对内部部件最严重的温度冲击可能来自处于寒冷状态的装备通电。为了以适当的比例诱发所有与温度有关的应力，需使用外挂的热模型预示服役任务剖面下若干内部点的温度和变化率。

4. 1. 2. 5. 2 环境温度

环境温度最大的变化出现在地球表面附近。在许多情况下，外挂经受的极端低温状态是直接由飞行之前的环境低温所造成的，原因是有足够的温度浸透时间并且没有内部功率耗散或气动加热。因此，在确定挂飞的初始温度时，重点考虑地面温度。为了使下一个模拟任务阶段的温度正常化，试验温度循环可能需要包含一个模拟在地面上的周期；否则，一个不间断的模拟任务序列往往可能使平均的内部温度高于或低于实际任务的温度。GJB 1172-1991 提供了各种区域的地面环境气温及其出现的概率。应当注意该文件中引用的温度没有包括直射阳光的加热效应或辐射到夜晚天空所造成的冷却效应。因此，在确定飞行前的温度时，应考虑辐射产生的热交换效应，并应从出现的概率转换到出现时间的比例。

4. 1. 2. 5. 3 气动加热

在挂飞期间，高对流热交换率将导致外挂的表面温度接近附面层的温度。附面层的空气回复温度主要取决于环境温度和飞行速度，式(1)给出了其函数关系：

$$T_r=T_0\theta [1+r(\gamma -1)\frac{M^2}{2}] \cdots \cdots \cdots (1)$$

- 式中：
- $T_r$  ——附面层空气回复温度，°K；
  - $T_0$  ——海平面空气温度(标准天)，288.16°K；
  - $\theta$  ——飞行高度上的温度与海平面温度(标准天)之比(在两种高度范围内随高度变化，见 GJB 150.16A-2009 中的表 C.6)；
  - $r$  ——0.87，附面层温度回复系数；
  - $\gamma$  ——1.4，空气比热因子；
  - $M$  ——飞行马赫数。

在环境温度最低的高空，通常以较高的马赫数(>0.80)飞行，因此，低温一般被气动加热所缓和。由于附面层热交换占优势，因此，在挂飞中的辐射热交换可以忽略。

4. 1. 2. 5. 4 功率耗散

尽管高对流热交换率往往将外挂的表面保持在附面层空气回复温度上，由于电子设备的功率耗散，内部温度可能相当高。因此，应剪裁受试装备的负载循环以反映实际的工作，并与外部温度协调以实现预期温度的良好复现。



4. 1. 2. 5. 5 温度梯度

最严重的温度梯度通常将是处于寒冷状态的装备通电时的温度梯度。由于飞行速度和高度的变化，使表面温度比内部温度变化更快，也将出现温度梯度。

4. 1. 2. 6 振动

4. 1. 2. 6. 1 概述

振动可能导致零件的机械疲劳失效、相对运动(可产生磨损)、多余物迁移(导致电气短路)以及颤噪效应和摩擦电噪声(造成的电路性能下降)。试验和理论分析表明，各种故障模式的相对可能性随振动量值而变化。为了以适当的比例复现服役过程的故障模式，需要按几个量值进行试验，在每一量值中保持时间的百分比与服役使用过程的预示结果相同。可以认为振动谱包括两部分：低频部分，飞机通过外挂构架传递到外挂的振动(这不是低频振动的唯一振源，但是主要振源)；高频部分，由直接作用于外挂表面的附面层压力脉动所激发的振动。通常，外挂构架的机械阻抗使得低频与高频之间的分界线在100Hz~200Hz之间。

4. 1. 2. 6. 2 低频振动

低频振动主要导致对结构包括支架、大电路板和机电装置(例如陀螺仪、继电器)的失效。低频振动主要来自飞机，因此通过振动台在挂点的输入激励能较好地复现，参照 GJB 150.16A-2009。应注意脉动气动力也可作用于低频范围。对于控制面、翼面或其他具有大的面积-质量比的结构，气动力的作用可能占优势。因此，不能将试件的低频振动作为翼面、垂尾或其附件的结构疲劳寿命试验。通常，需要进行单独的部件试验以确定其结构疲劳寿命。

4. 1. 2. 6. 3 高频振动

高频振动(高于外挂连接能够传递的振动频率)是由附面层紊流所激发的。主要导致电子产品故障，但不会引起外挂的结构失效。对于外挂，附面层压力脉动的主要特征是：

- a) 压力谱几乎是平直的，一直到外挂部件局部响应的最高频率(压力谱的-3dB 点约为 4 000Hz)。因此，外挂的振动谱几乎完全由其固有频率响应所决定。
- b) 压力脉动和相应的振动的均方根量值近似正比于动压  $q$ ，动压  $q$  是飞行速度和高度的函数(见式(2))：

$$q=\frac{1}{2}\rho_0\sigma V_a^2M^2\cdots\cdots\cdots(2)$$

式中：

- $q$  ——动压，kN/m<sup>2</sup>；
- $\rho_0$  ——海平面大气密度，1.2251×10<sup>-3</sup> kg/m<sup>3</sup>；
- $\sigma$  ——当地大气密度与海平面大气密度之比(标准大气)(在两种高度范围内随高度变化，参见 GJB 150.16A-2009 中的表 C.6)；
- $V_a$  ——海平面声速(标准大气)，340.28 m/s；
- $M$  ——飞行马赫数。

注：飞机的飞行速度一般都用修正的空速或马赫数表达。更详细的说明和计算方法，参见 GJB 150.16A-2009 的 B.2.6 和表 C.6。通过飞行实测结果确定外挂上特定点的振动量值与飞行动压之间的比值。若不能获得飞行数据，则使用其他外挂的类似结果或以 GJB 150.16A-2009 的表 C.5 和图 C.12、图 C.13 以及图 C.14 作为指南。

4. 1. 2. 7 湿度

湿度连同可溶解的污染物能够引起腐蚀效应，接通电源时可能引起短路，冷凝水在狭窄空间内结冰可能产生机械应力。试验循环应提供水蒸气扩散和冷凝。对于诱发故障，水气的总量一般不重要，因此，在试验中不需要控制湿度。本试验不能替代腐蚀试验，如盐雾试验。

4. 1. 2. 8 冲击



与振动类似,冲击产生的机械应力导致产品故障。在试验中可包括更近似于瞬态振动的冲击,如飞机弹射起飞和拦阻着陆冲击。但对于短持续时间的冲击,例如信号点火、子母弹的发射和飞行舵面的操纵等冲击,通常难以在外挂级别上复现。这些可能导致电子产品故障的冲击应在其他的分析和试验中解决(见 GJB 150.18A-2009 和 GJB 150.27-2009)。若分析表明本试验的振动量值超过冲击,则认为试验覆盖了冲击(见 GJB 150.18A-2009)。

#### 4.1.2.9 高度

通常,在本试验中不需要高度模拟。但是,压力变化可能增强潮湿渗透,压力降低可减少热量耗散、提高温度,并可增强电弧效应。对于电弧效应应单独进行抗电弧能力的试验。潮湿渗透一般不考虑压力变化,在大多数情况下,只要足以产生内部冷凝,夹带的水气的总量并不重要。对于热交换减少可通过限制空气流通而不是降低环境压力来实现。

#### 4.1.2.10 其他环境

尽管本试验主要复现与外挂挂飞有关的环境应力,但可扩展到外挂寿命期的其他阶段,只要那些阶段的相对持续时间与挂飞有关,例如,在试验中,可包括代表运输和装卸的冲击和振动时间。在试验中,不应预计不产生在时间上随机分布的故障的环境。例如,腐蚀性大气和霉菌生长环境,即使有故障,也仅在相当长的时间以后出现;外挂投放冲击、砂尘和浸渍环境故障出现与否与环境的严酷度有关而与时间无关。这些环境不适合于本试验。在决定包含哪些环境时要特别小心,以外挂发射子弹、照明弹、干扰箔条或其他物品为例,由于其中存在一系列冲击事件,可能成为外挂连续工作环境的一个重要部分,在此情况下也可能在外挂表面形成敞开的空腔,从而产生长时间的高强度的空腔噪声。

#### 4.1.3 选择试验顺序

##### 4.1.3.1 一般要求

见 GJB 150.1A-2009 中的 3.6。

##### 4.1.3.2 特殊要求

本试验应用于外挂寿命期最终阶段中出现的环境应力。当单一的试件经受本试验和本标准的其他环境试验时,在模拟寿命期较早阶段的试验之后进行本试验,但应在模拟外挂投放/发射、自由飞行、目标撞击等试验之前。

#### 4.2 选择试验程序

本试验只包含一个试验程序,可根据不同的试验要求进行剪裁。

#### 4.3 确定试验条件

选定本试验后,还应根据有关文件的规定和为该程序提供的信息,选定该程序所用的参数量值、试验条件和试验技术。确定试验量值时应考虑以下内容:与本标准中的其他部分不同,本试验没有包含试验条件的任何参照值。振动、噪声、温度和负载循环的综合环境太复杂,并且装备应用的变化太大,这里无法给出详细的说明。作为替代,本试验提供了编写试验程序的指南,这种试验程序或多或少是针对特定的试验装置和试件。附录 A 提供了试验量级和试验条件制定的一个详细实例。在使用本试验之前,应研究附录 A 中的实例。在试验量级和条件的制定中,应明确下列问题:

- a) 任务描述,以导出任务剖面。
- b) 任务分析,以导出:
  - 1) 任务温度分析,用于随时间的任务温度剖面的制定。
  - 2) 任务振动谱识别,用于随时间的任务振动剖面的制定。

注:应注意规定的任务振动谱将是振动-噪声试验期间复现的谱。在复现谱的过程中,将使用振动和噪声的综合激励。由于服役过程的噪声环境不能直接复现,因此,任务噪声谱技术条件是名义上的并不重要。

- 3) 任务工作负载循环,用于外挂的功能特性剖面。

#### 4.4 试件的技术状态



#### 4.4.1 一般要求

见 GJB 150.1A-2009 中的 3.9。

#### 4.4.2 特殊要求

试件的技术状态对试验结果的影响很大。应使用在寿命期剖面内预计的装备技术状态。至少应考虑外挂挂飞的工作状态。

### 5 信息要求

#### 5.1 试验前需要的信息

一般信息见 GJB 150.1A-2009 中的 3.8，特殊信息如下：

- a) 根据试验计划制定试验实施程序。该程序包括试验步骤和测量的记录与相应的表格，并包含与安全有关的任何程序。
- b) 试件数量。
- c) 合成任务剖面。在相关文件中应包含(无论是直接的还是参考的)用于设计合成任务剖面的下列信息：
  - 1) 在试验中需控制的特定环境和参数(至少包括振动量值、谱型、外壳温度和负载循环)；
  - 2) 任务剖面，包括飞机类型、外挂负载和不同任务出现的百分比；
  - 3) 工作的气候区域和环境温度的分布；
  - 4) 合成任务剖面的推导，包括挂飞振动测量、温度测量和热模型。
- d) 试验循环。试验循环规定控制和检测参数以及执行功能测试的时间历程。环境试验循环是合成任务循环和气候偏离循环的结合：
  - 1) 合成任务循环：这是一个在不同偏离的气候温度下重复使用的环境和工作应力的时间历程。将所有的功能测试和其他事件(如冲击)标识在这个时间历程中。规定每种应力的持续时间、量级和其他特征。在这个循环中，应包含气候偏离之间归一化温度的转换时间。
  - 2) 环境剖面图表：对于在试验期间需控制或监测的每种环境变量，使用图或表表示为合成任务循环期间变量的预定值。这些图表将适合于标准天的昼间温度条件。
  - 3) 气候偏离表：按连续合成任务循环的应用顺序准备一个温度偏离表。说明这些偏离的由来及其范围(例如，在 95%的世界范围内)，以及合成任务循环之间所有转换温度的调整时间。
  - 4) 试验控制方法：应在相关文件中包含用于控制环境应力的方法、传感器的位置和类型、开环或闭环控制的使用和参数的允差。除另有规定外，应遵循 GJB 150.1A-2009 的一般精度和允差要求。
- e) 试验完成准则。例如，故障的数量或类型、完成的试验循环次数等要求；
- f) 试验日志。试验日志用于书写资料和记录非常事件与异常现象。至少含下列内容：
  - 1) 试件安装在试验设备上的时间和开始合成任务循环后的循环数；
  - 2) 仪器和装置的校准。

#### 5.2 试验中需要的信息

一般信息见 GJB 150.1A-2009 中的 3.11，特殊信息如下：

- a) 按时序记录事件。记录所有影响试验过程或可能影响试验结果的事件。
- b) 连续记录环境量值。连续记录所有外界和试验环境因素及量值。例如，室内温度和湿度、声压级和振动量值、外壳和部件温度、抖振事件、振动台冲击事件等。
- c) 记录偏离。按时序记录对预定的试验环境量值和/或持续时间的所有偏离的记录。
- d) 故障说明/处置。故障出现以后的工作程序，包括定位、修复和试验重新启动。

#### 5.3 试验后需要的信息



一般信息见 GJB 150.1A—2009 中的 3.14, 特殊信息如下:

- a) 试验时序。事件、试验中断和试验故障的清单。
- b) 故障说明/处置。故障的确定和故障类别。故障出现以后的工作程序, 包括定位、修复和试验重新启动。
- c) 试件处置。试件的安置、状态和计划的用途(例如, 返回到制造厂商, 为进一步试验保留等)。

## 6 试验要求

### 6.1 试验设备

#### 6.1.1 一般要求

用于进行外挂(以下称“试件”)振动-噪声-温度试验的装置应具有产生所要求的温度范围和振动范围的能力。同时还应具有对试件进行功能操作和监测的能力。

#### 6.1.2 振动和噪声试验设备

##### 6.1.2.1 概述

为复现试件在监测点上规定的振动响应, 一般需要综合应用机械振动和噪声激励。通过振动台系统的机械振动输入提供低频的能量(大约 100 Hz 以下); 通过噪声激励提供较高的频率的能量(约 300 Hz 以上)。原因是, 在 100 Hz 以下, 声压不可控, 振动能量实际上是通过机械方式传递的; 在 300Hz 以上。难以通过复杂机械连接装置传递机械振动, 实际上振动能量主要来自噪声激励。在上述频率之间的振动响应由机械振动和噪声混合激励产生。

##### 6.1.2.2 混响室和声源

混响室的形状和尺寸应能在 150Hz 的频率以上提供均匀分布的声场。声源能够在 150Hz~2500Hz 的范围内产生所要求的声压级。混响室的声压级宜达到 155dB 以上。典型的试验装置为电动气流扬声器通过指数号筒连接到混响室。在需要更高的声压级(高达 165dB)时, 可采用行波管模拟噪声环境。

##### 6.1.2.3 振动设备

为了产生振动中频率较低的部分和模拟异常的动力学事件, 可通过一个或多个电动或电液振动台激励试件。振动台应不干扰声场或明显改变试件的固有频率。试件采用软悬挂支承方式, 振动台可通过连杆或滑动接头式激振连接件向试件施加激励。大型、形状复杂或不平衡的试件(如巡航导弹、电子对抗吊舱、火力吊舱等), 可能需要多个振动台同时施加激励。小型、细长的试件(如空空导弹等), 有时可通过其与飞机的通用界面(例如发射架)施加激励。一般使用电动振动台施加激励, 在低频需要高量值振动(例如抖振)时, 电动振动台不能产生所要求的幅值(特别是位移幅值)。可选用电液振动台, 但电液振动台不能产生典型的航空电子设备振动试验中所要求的高频振动。

##### 6.1.3 温度设备

温度范围和试件外壳温度的变化速率应满足实现试验剖面的要求。典型的温度范围是 $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ , 温度变化速率可能高达  $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。试件的温度调节应与声场相兼容。为了使试件与声试验室室壁和室内的空气隔热, 试件可套在薄的柔性外罩内, 调节温度的气流通过管道输送入罩内。这种方式提高了热效率, 可达到较高的温度变化速率。外罩应能透射声场, 并尽量贴合, 以提高试件周围的吹风速度, 增强换热率(防撕裂尼龙布是一种合适的外罩材料)。为了实现高冷却速率可采用喷射液氮的方法。气流温度可超过规定的外壳温度以增大换热率, 但应注意避免沿试件表面形成过大的温度梯度。

##### 6.1.4 电应力

试件的工作负载循环和功能测试可提供基本的电应力。按任务模拟的规定对试件进行开、关循环。电压变化或其他电参数应与温度相关联。如果在服役期内出现附加的电应力, 如电压尖峰、掉电和波动, 应予以复现。

##### 6.1.5 仪器

###### 6.1.5.1 一般要求



为了获得试验的环境参数，应测量加速度、声压和温度。其中，加速度是主要的响应监测参数。有时，可测量其他环境参数，如，露点或湿度。为了满足校准、测量和分析要求，需要给出专用的设备技术条件。所有测量仪器应按可溯源的国家计量标准进行校准(见 GJB150.1A-2009 中的 3.4.2)。另外，测量试件功能的仪器，应获取和遵守可使用的计量标准。

#### 6.1.5.2 加速度计

加速度计应满足下列要求：

- a) 横向灵敏度小于或等于 5%；
- b) 从测试所要求的峰值加速度幅值的 5%~100%，幅值线性度在 10%以内；
- c) 对于压电加速度计，在 2Hz~2000Hz 的频率范围内，或对于压阻加速度计，在 DC~2000Hz 的频率范围内，频率响应的不平度在±10%以内；
- d) 加速度计的工作温度范围应覆盖试验的温度范围，且在试验温度范围内，灵敏度温度系数在±5%以内(可通过在测量过程中对温度系数进行补偿达到)；
- e) 加速度计的使用应符合 GJB 150.16A-2009 中规定的要求。

#### 6.1.5.3 传声器

传声器应满足下列要求：

- a) 从测试所要求的峰值压力幅值的 5%~100%，幅值线性度在 10%以内；
- b) 在 10Hz~10kHz 的频率范围内，频率响应的不平度在±10%以内；
- c) 传声器的使用应符合 GJB 150.17A-2009 中规定的要求。

#### 6.1.5.4 温度计

温度计应满足下列要求：

- a) 从测试所要求的峰值温度幅值的 5%~100%，幅值线性度在 10%以内；
- b) 平直的频率响应，能够检测 50℃/min 的温变率。

#### 6.1.5.5 其他测量装置

与试验要求相一致。

#### 6.1.5.6 信号适调

使用的信号适调应与传感器相匹配。尤其是模拟电压信号的滤波应与时间历程响应要求相一致(对于加速度和声压，在带通滤波器的截止频率上为陡峭的滤波器过渡带，对于温度计，从直流至滤波器截止频率为线性相位)，滤波设置应使放大器削波导致的异常数据不会被误解为响应数据，例如，放大器的输入信号滤波，但放大器的输出信号不滤波。对于与冲击数据有关的加速度，宜采用线性相移低通滤波器进行滤波。

#### 6.1.5.7 监测仪器的有关说明

为了控制试验，宜使用来自反馈回路中所有在用仪器的信息。尤其是显示试验应力超差(例如，温度太高)或试件响应超差(例如，电流过载)导致试验中断的任一信息。为了保证满足试验要求，6.2.3~6.2.7 提供了功能、振动(噪声加机械振动)、温度、湿度和功率监测/控制的指南。

### 6.2 试验控制

#### 6.2.1 校准

应按 GJB 150.1A-2009 中的 3.4.2 中的规定对所有环境测量装置(如加速度计、传声器、温度计)进行可追溯校准。在试验开始前，应使用校准装置对系统进行验证校准；如不适用，应提供合适的方法进行相应的验证。对校准装置的实测响应数据进行处理并证实测量结果与技术条件一致后，撤除校准装置，对指定的试件进行试验。对记录试件功能的设备应按试件的性能规范进行校准。

#### 6.2.2 允差

对于试验验证和试验控制，使用在试验程序中规定的环境测量允差，以及 GJB 150.1A-2009 中的 3.3 提供的指南。在不能满足这些允差的情况下，设定可达到的允差，并在试验开始之前得到主管部门



和用户的同意。应在规定的测量校准、仪器、信号适调和数据分析程序的限度内设定允差。按试件性能规范设定有关记录试件功能特性仪器的允差。

### 6.2.3 功能监测

在试验期间连续监测试件的功能。若总体性能的测量简单,则应对每个环境循环至少进行一次完整的功能评价。推荐在高温最大振动与低温最大振动情况下进行完整的功能评价。随着环境的变化,出现的故障可能是间断的、可逆的或不可逆的,应明确规定判断故障处理程序。可采用在短时间内(与要求的平均故障间隔时间 MTBF 比较)移出外挂并进行测试的方式检验那些不能在环境试验室内检验的功能。注意,外挂可靠性的任一统计评估都必须考虑试验的时间。统计试验方案(如 GJB 899-1990 中所述的方案)通常假定连续地监测。

### 6.2.4 振动监测和控制

#### 6.2.4.1 概述

振动由声场和振动台产生的。为了产生所要求的外挂响应,按 6.2.4.2 和 6.2.4.3 用试验方法确定所需要的振动和噪声输入。一旦确定了所要求的外挂振动输入,就可通过闭环自动控制系统测量到的输入信号来控制振动台。与通过响应测量的反馈控制振动台相比,这种方式将提供更好的试验一致性。当发现监测响应测量值和要求的响应之间有明显差异时,应停止试验并查明原因。振动输入装置中的松动或磨损、监测传感器安装或接线的问题和同型号的不同外挂的响应差异均可以显著地影响响应。尤其是装有测量仪表的外挂,当其已经受了多个小时严酷的挂飞条件并用于校准振动测试时,与新的试验外挂相比,其响应可能明显地减小。

#### 6.2.4.2 气流扬声器

声场可以由低压气体供给气流扬声器产生。这些扬声器通过指数号筒连接到混响室。由于混响室需要大的声功率,因此,可能需要数个扬声器。可使用具有较低的近似 200Hz 截止频率的号筒。扬声器的驱动信号是某种谱型的随机噪声;可采用经过滤波整形的噪声发生器信号或预先录制的信号。依据装有测量仪表的外挂在挂飞中实测的振动响应,通过调整声谱以在此外挂上产生相同(近似)的振动响应,从而确定声谱的形状。用传声器监测声压级和声谱。对于传声器布置、试验量级允差和进一步的指南,见 GJB 150.17A-2009。

#### 6.2.4.3 机械激励

电动和电液振动台的驱动信号是某种谱型的随机噪声;可采用经过滤波整形的噪声发生器信号或预先录制的信号。依据装有测量仪表的外挂在挂飞环境中实测的振动响应,通过调整振动谱以在此外挂上产生相同(近似)的振动响应,从而确定振动谱的形状。首先调整声输入,并使其在振动台驱动信号补偿期间保持不变。在振动台驱动信号已补偿到复现要求的响应振动后,记录外挂与振动台连接处的振动谱和量值,作为试验期间使用的辅助标准。在试验期间,通过这些点和外挂响应控制点上的加速度计监测振动量值和谱。在整个试验过程中,监测这些信号。对于振动台的闭环控制,使用在振动台/驱动系统界面上测量的振动。当振动台仅用于提供振动谱的低频部分时,可能不需要闭环控制。对于试验量值允差和进一步的指南,见 GJB 150.16A-2009。

### 6.2.5 温度监测和控制

温度试验循环规定的温度是外挂的外壳温度,在试验期间对其进行测量并用于反馈控制。为了提高交换速率,气流温度可被调到更严酷的值(可超过外挂温度范围 20℃)。为了避免温度值超出这个范围,应单独监测气流温度。在进行温度循环过程中,为保证温度的均匀分布应测量外挂不同点上的外壳温度。

### 6.2.6 湿度监测

尽管湿度不是本试验的控制参数,但通过露点或相对湿度传感器,可监测通过管道输送的气流的湿气含量。随着任务循环外挂的表面温度达到并保持低于热空气露点温度时,湿气就冷凝在外挂表面上。这是正常的和预期的情况。

### 6.2.7 功率监测



所有电功率和其他功率输入(例如, 液压, 压缩空气), 无论其在模拟任务条件时是否变化, 应连续监测。这项监测提供了多种类型故障的立即显示, 并且通过自动控制还可用于限制从属失效。

6. 3 试验中断

6. 3. 1 一般要求

当监测或控制显示出继续试验不利于达到试验目的时, 应中断试验。见 GJB 150.1A—2009 中的 3.12。

6. 3. 2 特殊要求

6. 3. 2. 1 欠试验中断

若试验条件低于允许下限导致试验中断, 需记录试件当时的状况(温度等)和在合成任务循环中的时间点, 并停止试验。确定欠试验状况的根本原因(例如, 由于温度调节单元失效使得外挂不能达到正确的外壳温度, 或者由于扬声器阀门组件失效使得规定的振动响应量值没有满足)。进行改进工作使所有试验设备达到正常工作条件。使试件重新达到中断前规定的条件, 并从中断点继续试验。

6. 3. 2. 2 过试验中断

若试验条件超过允许上限导致试验中断, 在重新恢复试验之前, 需对试件进行适当的物理检查和工作性能测试(如可行)。在可能存在安全隐患(若带有弹药)的地方应进行全面仔细的检查和测试。如果发现安全问题, 最好的措施是结束试验, 并用新的试件重做(若该安全问题没有这样解决, 并且在后续试验期间试件出现故障, 则可认为试验结果无效)。若没有发现问题, 则重新建立中断前的条件, 并从超过试验允差的点继续进行试验。

6. 4 数据分析

在所有信号数字化过程中, 使用模拟抗混滤波器。模拟抗混滤波器应满足下列要求:

- a) 使进入使用频带的混叠不超过测量误差的 5%;
- b) 对于温度和冲击加速度, 从直流到频带上限具有线性相移特性;
- c) 使用频带内的通带不均匀度在 1dB 以内(见 6.2.5)。

在随后的数据处理过程中, 使用的任何一种附加的数字滤波应与模拟抗混滤波相匹配。特别是, 对于处理温度数据和所有冲击加速度数据, 附加的数字滤波应保持线性相移特性。

在进行数据处理之前, 检查实测响应时间历程数据或其概率密度分布。如果发现异常现象, 应剔除可能无效的实测响应时间历程数据。

对振动响应数据进行自功率谱密度分析, 并计算均方根值。在进行自功率谱密度分析时, 时间历程应加汉宁(Hanning)窗。对噪声测量数据进行 1/3 倍频程分析, 并计算总声压级。

7 试验过程

7. 1 试验准备

7. 1. 1 一般要求

见 GJB 150.1A—2009 中的 3.9。

7. 1. 2 特殊要求

验证所选用的环境监测和测量传感器类型及其布置满足试验要求。

7. 2 试验前的检查

试验前的检查是用一个预试件对试验系统和循环程序进行检查和调试, 以提供试件上的响应能够满足试验技术要求的置信程度。详细步骤见 7.3。

为复现外挂在服役过程中的振动, 试验前的检查需对振源进行调整。由于技术上的限制, 导致服役过程实测的与实验室复现的振—声在空间上不相似和随机性。复现的外挂振动响应在空间分布、谱和幅值上均存在差异, 且不能使这些差异同时减至最小, 因此, 因基于技术分析和工程判断采取折中处理。各种差异的机理以及可能减少差异的改正措施如下:

- a) 空间加速度相对幅值的不一致。由于服役过程的噪声和振动环境由许多不可能在实验室中复现



的激励源所产生,在试件内不同位置上的相对振动量值可能与外挂在服役过程中同样位置上实测的相对振动量值不一致。减少这类误差可能需要改变振动台的连接位置、使用多个振动台、声场重新定向(来源于有方向的号筒)、或选择使用声阻材料。另外,声场诱发的振动可能随试件外罩内的气流温度而变化。通常,试验装置提供的激励试件的自由度小于服役过程中外挂的有效自由度。而且服役过程实测数据中不规定互谱,也不作为试验的控制参数。通常可假定来自不同源的输入是不相关的。

- b) 谱型误差。由于服役过程的噪声和振动环境来自许多不可能在实验室中复现的激励源,在试件内不同位置上的谱型可能与服役过程中同样位置上的试件谱型不一致。可通过改变噪声和/或振动台驱动信号的谱进行修正,或者改变试件的支承方法。由于通常服役过程实测数据中不规定互谱并且不作为试验的控制参数,因此这种修正是有限的。
- c) 幅值误差。对于平稳随机数据,幅值分布一般假定为高斯分布。但是,对于服役过程的实测数据,特别是高空机动飞行幅值分布可能是非高斯分布。应检查试件的幅值分布与服役过程的实测幅值分布相似,应注意振动控制系统固有的幅值限制,例如  $3\sigma$  削波。对于给定的具有高斯幅值分布的自谱密度估计的复现,振动控制系统的截断值应大于均方根值的 3 倍(对于长试验持续时间,超过均方根值 3 倍的加速度的影响是不可忽略的)。通常,为了复现具有非高斯幅值分布的自谱密度估计,需要专门的振动控制软件。

### 7.3 试验装置和循环检查程序

试验装置和循环检查程序应按下列步骤进行:

- a) 使用一个装有测量仪表的试件(不需要正式产品),将试件和环境装置组装成所计划的技术状态。若所计划的试验是基于服役过程的实测值,传感器及其位置应与实测的传感器及其位置相同。如可能应采用服役实测过程的同一试件及其测量仪表。
- b) 安装和校准所有传感器。同时,测试任何自动报警或中断机构的功能。
- c) 施加和调整噪声激励至最小声压级。检验声压级和谱型。逐步施加更高的声压级直至达到所要求的最大声压级。在每个声压级上按要求调整谱型。
- d) 按要求的最低声压级施加经调整过的噪声激励。施加任意的低量值振动激励。测量振动响应,并反复调整振动驱动信号以达到要求的响应。
- e) 将噪声和振动激励调整到其最大量级。调整振动驱动信号,并且在需要的情况下调整噪声驱动信号,直至达到要求的最高振动响应量值。
- f) 将噪声和振动激励调整到要求的每个中间量级,并测量响应。如果每个量级上的响应与要求的量值相当接近(需要工程判断),则维持最高响应量值的校准,并且通过改变驱动信号的总量值重复其他量级(在较高的量级上,模拟精度更重要)。如果响应随激励量级的变化是强非线性的,则对每个量级设立校准。
- g) 对外挂施加最大温度激励。调整温度控制器和输送管,以达到规定的外壳温度和变化速率。外壳上温度值的分布应在从热模型中确定的允差内,并能够达到要求的温度变化速率。
- h) 进行一个合成任务剖面循环,包括电源开/关和功能测试。测量外壳温度并改正任何问题,应满足温度变化速率要求。根据需要可重复进行。
- i) 以最高偏离进行一个合成任务温度循环和负载循环,并以最低偏离进行另一个循环。测量外壳温度并改正任何问题,应满足温度变化速率要求。根据需要可重复进行。
- j) 将一个可工作的试件放入试验装置。若这是一个以前没有经历 a) 和 b) 的试件,则重复 a) 和 b)。
- k) 按要求对试件通电并进行功能测试。
- l) 在高温下,然后在低温下,在振动加载的情况下重复 k)。

### 7.4 试验程序

下面给出了一般程序的步骤,但它可根据表 1 所示的试验类型而变化:



- a) 按 7.3 中描述准备试件;
- b) 检验试件的功能状况;
- c) 使用技术文件中规定的条件按 7.3 开始试验;
- d) 按技术文件规定的试验剖面进行循环, 监测试件的功能状况;
- e) 若试件出现故障, 则依照第 8 章分析和记录试验结果;
- f) 若试验出现中断, 则依照 6.4 的规定程序处理;
- g) 继续试验直至满足 5.1e) 所述的完成准则, 记录结果并与试前的数据比较。

表 1 典型应用

试验类型	目的	应用	需要的资料类型	
			故障模式	失效的时间
试验、分析和改进 (TAAF)	暴露和修改设计薄弱环节	在生产前研制更可靠的设计	对于诱发潜在的工作故障是必须的	不重要
可靠性验证	验证设计是否满足规定的可靠性	生产的开始通常是基于成功的可靠性验证	仅在验证没有通过的情况下是重要的	必需的
调试或筛选	在产品出厂之前(即, 当修理合算时)暴露工艺或部件的缺陷	生产期间, 制造厂商内部测试的一部分, 以保证交付可靠的产品	对于缺陷方面引起的故障是重要的, 这类故障在服役中不应再出现	不重要
批量验收	从小子样故障的时间中估计批量产品的 MTBF	确定批量产品是否符合验收质量	仅在批量拒收的情况下是重要的	对于连续批次的测量结果的一致性和可比性是必要的。希望与服役的 MTBF 的基线相似
来源比较	从小子样故障的时间中确定产品的相对可靠性	确定两种源中那种应得到更大的产品购买份额	对于不良源的改进是重要的	仅对一致性的可比性是必要的

8 结果分析

除 GJB 150.1A-2009 中 3.15 和 3.17 提供的指南外, 下列的信息也有助于评价试验结果。若试验中出现故障, 在结果分析中, 应考虑:

- a) 应力。确定导致故障的直接物理机理, 例如, 疲劳, 微粒导致短路等。
- b) 载荷。确定导致故障的物理载荷, 以及出现故障时的总时间或循环次数(例如, 结构动力学共振模态, 振型, 应力分布, 温度分布引起的静态变形, 湿气侵入等)。
- c) 责任。确定故障来自产品本身, 还是试验进行不正确或试验超差引起的。
- d) 来源。确定故障是否由工艺错误、设计缺陷或有缺陷的零件等造成的。
- e) 危险程度。确定故障是否会影响使用安全、作战效能或在外挂交付之前需要修理。



## 附 录 A

## (规范性附录)

## 试验基本原理——振动—噪声—温度试验剖面制定

## A. 1 范围

## A. 1.1 目的

本附录提供了振动—噪声—温度试验剖面制定的实例。

## A. 1.2 应用

本附录中的资料为制定振动—噪声—温度试验剖面提供了部分应考虑的细节。可用于表 1 中的任一试验类型试验剖面的制定。

## A. 2 试验剖面制定

## A. 2.1 概述

为了保证在试验中出现的故障是服役使用过程的典型故障,应复现服役过程的应力分布。服役过程的应力分布是一组应力,其综合形式、量级和持续时间由服役过程的各项任务所确定。本试验方法应以服役过程各项任务的相对比例复现温度、振动和噪声的量级、持续时间和综合形式。

军用飞机服役使用过程可由表 A.1 中阐明的一组任务和每种任务出现的相对频数描述。每种任务由携带的外挂类型和飞行任务剖面定义。飞行任务剖面是按时间的函数描述高度、速度和各种事件(例如,空中格斗、枪炮射击、加油)的一个理想的任务历程。从任务剖面 and 气候数据,导出相应的任务环境剖面。如果可得到飞行中实测的数据,在这项推导中应使用这些数据。将任务环境剖面综合成一个合成任务剖面。合成任务剖面是一个环境序列,其中,各种应力和综合应力出现的比例应与其环境剖面中按相对出现频数进行加权的比例相同或相似。合成任务剖面按温度出现的相对频数也包含气候温度的效应。但是,合成任务剖面应短到足以在被试外挂的预期故障前时间内重复多次(建议至少 5 次)。因此不要求包含极端环境(特别是极端温度),因为按正常比例保持该环境可导致过长的合成任务剖面。典型的应力范围在 5%与 95%之间。

## A. 2.2 任务特征

制定合成任务剖面的第一步是确定飞机的类型及其使用外挂的飞行任务剖面。可用带有事件说明的高度和马赫数描述飞行任务剖面。图 A.1 给出了表格形式的任务阶段分析或任务剖面描述。图 A.2 给出了任务的相应的图形表示。应确定各种任务的相对出现频数,并将其列成表 A.1 的形式。在确定各种飞行任务中外挂的挂飞的相对频数时,可能需要考虑某些对峙状态(经验表明,战争中应在首次飞行中使用的武器在高度紧张但无战事的国际局势下可能经历多次飞行后才使用)。应选择最严酷的、然而却更现实的混合任务来模拟。通常,如果外挂在其服役寿命期中将仅经历相对温和的或相对严酷的飞行任务剖面中的一种,则不要求对二者进行平均。对于每种飞机类型和任务,应确定被试外挂的挂点位置,以及可能影响它的其他外挂的位置,位于给定的外挂的前方或邻近的其他外挂将导致该外挂的紊流诱发振动增大,附近外挂的投放也可引起动态载荷。同样,应确定可对任务有影响任何地理或其他条件(例如,仅在舰载飞机上携带的外挂,其起飞前所遇到的温度范围就没有陆基飞机上携带的外挂在起飞前所遇到的温度范围大)。

## A. 2.3 任务分析

## A. 2.3.1 概述

对于诸如振动之类的外挂环境,不宜直接从任务剖面导出,而应根据直接影响外挂但不依赖于外挂响应的参数重新编制任务剖面。这些参数是初始温度、空气回复温度和动压。假定外挂的温度和振动是这些主要参数的函数。



A. 2. 3. 2 任务温度

标准天的空气回复温度在给定的飞行速度和气压高度  $h$ (标准大气)条件下, 可从 4.1.2.5 和 GJB 150.16A-2009 附录 C 的表 C.4 中的方程式计算获得。GJB 150.16A-2009 的表 C.4 也可用于将各种实测空速转换为马赫数。图 A.3 提供了单一任务类型的温度剖面。对于合成任务, 图 A.4 显示了外壳温度与经历的任务时间的关系。

A. 2. 3. 3 任务振动

A. 2. 3. 3. 1 除了格斗机动飞行期间低频振动增大, 以及在某些情况下, 超音速飞行中高频振动增大以外, 挂飞中外挂振动的频谱形状和空间分布基本与飞行条件无关。通常, 边界层脉动压力正比于飞行条件的动压( $q$ )。外挂振动是外挂对这些压力的动力响应, 也正比于  $q$ 。振动谱的均方根值( $g_{rms}$ )正比于  $q$ , 在任何频率上的加速度谱密度( $G$ )正比于  $q^2$ 。如果对单一飞行条件( $q_{ref}$ )定义振动量值( $g_{rmsref}$ ,  $G_{ref}$ ), 则这一比例关系可用式(A.1)和式(A.2)近似计算整个飞行包络的振动量值:

$$\frac{g_{rms}}{g_{rmsref}} = \frac{q}{q_{ref}} \dots\dots\dots (A.1)$$

$$\frac{G}{G_{ref}} = \left(\frac{q}{q_{ref}}\right)^2 \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- $g_{rms}$  ——振动谱的均方根值,  $g$ ;
- $q$  ——动压,  $kN/m^2$ ;
- $G$  ——加速度谱密度,  $g^2/Hz$ 。
- $G(f)$  曲线以下的面积等于  $g_{rms}$  的平方。

A. 2. 3. 3. 2 一般情况下, 参考条件取最小应力的亚音速挂飞状态(机翼挂架上不带相邻的外挂)。用此参考条件, 确定对应每个任务的  $q$  对时间的剖面, 并用外挂在每个  $q$  级上的时间比例作直方图。这个图概括了外挂预期经受的振动。对于无法通过实测得到振动数据的外挂, 可根据 GJB 150.16A-2009 中提供的剪裁准则或相关文件估计其振动量值。

A. 2. 3. 3. 3 对于诸多不同于最小应力状态的外挂的挂飞任务状态, 需要调整系数加以修正。这些系数考虑外挂的并挂、串挂或其他特殊构型中的典型携带情况。实测数据是这些系数的最佳来源。GJB 150.16A-2009 也提供了指南。

A. 2. 3. 3. 4 外挂的振动是外挂对脉动压力和飞机传递环境的动态响应。可分解成外挂关键结构点运动的描述。安装在外挂内的装备的振动环境是外挂的局部振动响应。试验由适宜的振动和噪声量级激励外挂, 剪裁输入信号以获得要求的外挂响应。

A. 2. 3. 3. 5 对于异常的情况(飞机抖振、弹射、拦阻着陆、炮击等), 也应确定振动/冲击量值、谱和其他特性。应根据持续时间和任务时间量化出现的异常振动/冲击条件, 使其能够在试验循环中以适当的比例和适当的次数复现。对此, 宜采用实测数据并按照 GJB 150.16A-2009 中的指南进行处理。在需要估计量值时, 可参照。GJB 150.16A-2009 和 GJB 150.20A-2009 中的有关指南。

A. 2. 3. 4 试验温度剖面

试验温度剖面将由两部分产生: 一部分是模拟由飞行任务导致的温度范围和温度变化, 另一部分是模拟气候影响:

- a) 为了确定飞行任务模拟部分, 首先将对应于一些最通用飞行任务的外壳温度序列排列在一起。使用不超过外挂平均故障间隔时间 MTBF 的 1/40 长度的序列。为了连续试验的方便, 一般将其定为 24h 的因子(如 6h 或 8h)。用外壳温度作为外挂热模型的输入, 并确定内部温度的直方图。这些温度应是多个循环之后的响应(“稳态”响应)。将这些温度与所有任务的直方图进行比较。调整试验的顺序以使外壳的温度直方图和内部的温度直方图大体一致。在此调整中, 粗略地保持与实际任务相同的温度变化值和变化速率。为使每个模拟飞行的周期在外挂的温度适



当均匀时开始,通常要在循环中引入一个模拟在地面时候的周期。为了加速内部温度的稳定性,可提高或降低模拟在地面时候过程中的温度。每个循环的初始温度将偏移以模拟气候温度变化的影响。

- b) 通过重复模拟带有温度上或下偏移的飞行循环包含气候影响,其中,偏离值在一个循环中是常数,但从一个循环到另一个循环是不同的(参见表 A.2)。相继循环中的温度值提高或降低,相当于代表温度高于或低于标准天。应保证不同偏离的数量至少是 8 个。由整个循环时间应短于平均故障间隔时间 MTBF 的 1/5 的要求来确定偏离数量的上限。 $N$  个偏离的数值选为图 A.5 所示的气候温度分布的  $N$  个等概率间隔的中点。对于在全世界范围昼夜工作的装备,10km 以下的气候变化近似为高斯分布。在地平面上,均值是 12℃,标准偏差是 15℃(这包括位置以及季节的变化)。在高空,平均温度较低,但在世界大部分地区,标准偏差大致相同。在南北极和赤道附近,高空的变化相当小。对于 8 个偏离,温度可按表 A.2 所示。试验循环中,阶梯式上下偏离量序列由阶梯数来表达。图 A.6 显示了一组气候图,其中,试件的外壳温度是经历的试验时间的函数。这减少了为达到下一个对外挂标称温度的偏离(偏离之间)所需要的持续时间。希望这一持续时间减到最小,原因是在测量外挂的平均故障间隔时间 MTBF 中不记入这一时间,从而降低了试验效率。

A. 2. 3. 5 试验振动剖面

确保振动试验剖面产生与从任务分析中导出的外挂响应量级具有相同的直方图。假定幂函数疲劳损伤的分析表明,3 至 5 个不同的振动量级通常是足够的。使用相同于初始温度循环所用的任务序列生成一个振动量级试验循环。然后,进行调整以达到正确的总体直方图。按实际任务维持振动与温度之间的相关性(通常高振动量级伴随高温)。以相应比例的持续时间在试验循环中插入异常的振动事件,并与温度以及垂直和水平振动逼真的联合在一起。通常希望在试验环境较严酷的部分下测试外挂的功能,因为这样最可能暴露可逆的故障。在服役过程中,高量值的振动,如抖振产生的振动,通常在若干非常短的时间间隔(几秒的级)内出现。最好将与几小时飞行任务相对应的所有高量值振动结合在单一的时间间隔中,以便为高量值振动期间进行完整的外挂功能测试提供时间。图 A.7 显示了合成任务中动压  $q$ (按绝对压力, Pa)与经历的任务时间的关系。

A. 2. 3. 6 工作负载循环

由于功率耗散是热源,因此,在温度试验设计中考虑外挂的工作负载循环。此外,在循环中的受载部分以及开始部分的时间段应安排工作负载循环以便进行外挂的功能测试。若可能,在低温和高温极值、高量值振动期间或高量值振动刚结束后以及每个循环的开始进行外挂测试。

A. 2. 4 试验的技术状态

图 A.8 是用于振动-噪声-温度试验的典型装置布置图。布置图中控制室可能离声试验室很远。电动式或电液式振动台隐藏在试件下面。

表 A. 1 任务类型出现的相对频率

任务类型	飞机类型	出动的百分比 %
1. 巡逻任务 I	A 类战斗机	50
	B 类战斗机	30
2. 巡逻任务 II	A 类战斗机	20
	B 类战斗机	20
3. 攻击护航任务	A 类战斗机	30
	B 类战斗机	30
4. 攻击任务	B 类战斗机	20



表 A. 2 温度偏离量

阶梯数	百分位数	偏离量	地面温度
3	6.25	-30.8℃	-18.8℃
2	18.75	-13.3℃	-1.3℃
4	31.25	-7.2℃	4.8℃
1	43.75	-2.4℃	9.6℃
5	56.25	2.4℃	14.4℃
8	68.75	7.2℃	19.2℃
6	81.25	13.3℃	25.5℃
7	93.75	30.8℃	43.0℃

任务阶段	马赫数	高度 km	持续时间 min	附加因素	外挂的 负载循环
起飞和爬升				弹射冲击?	关闭到准备就绪
巡航					准备就绪
加油					准备就绪
进入战斗					打开(发射)
机动				抖振?	准备就绪
返航					准备就绪
加油					准备就绪
下降和着陆				着陆冲击?	关闭

图 A. 1 任务阶段分析(B 类战斗机, 攻击任务)表格样式

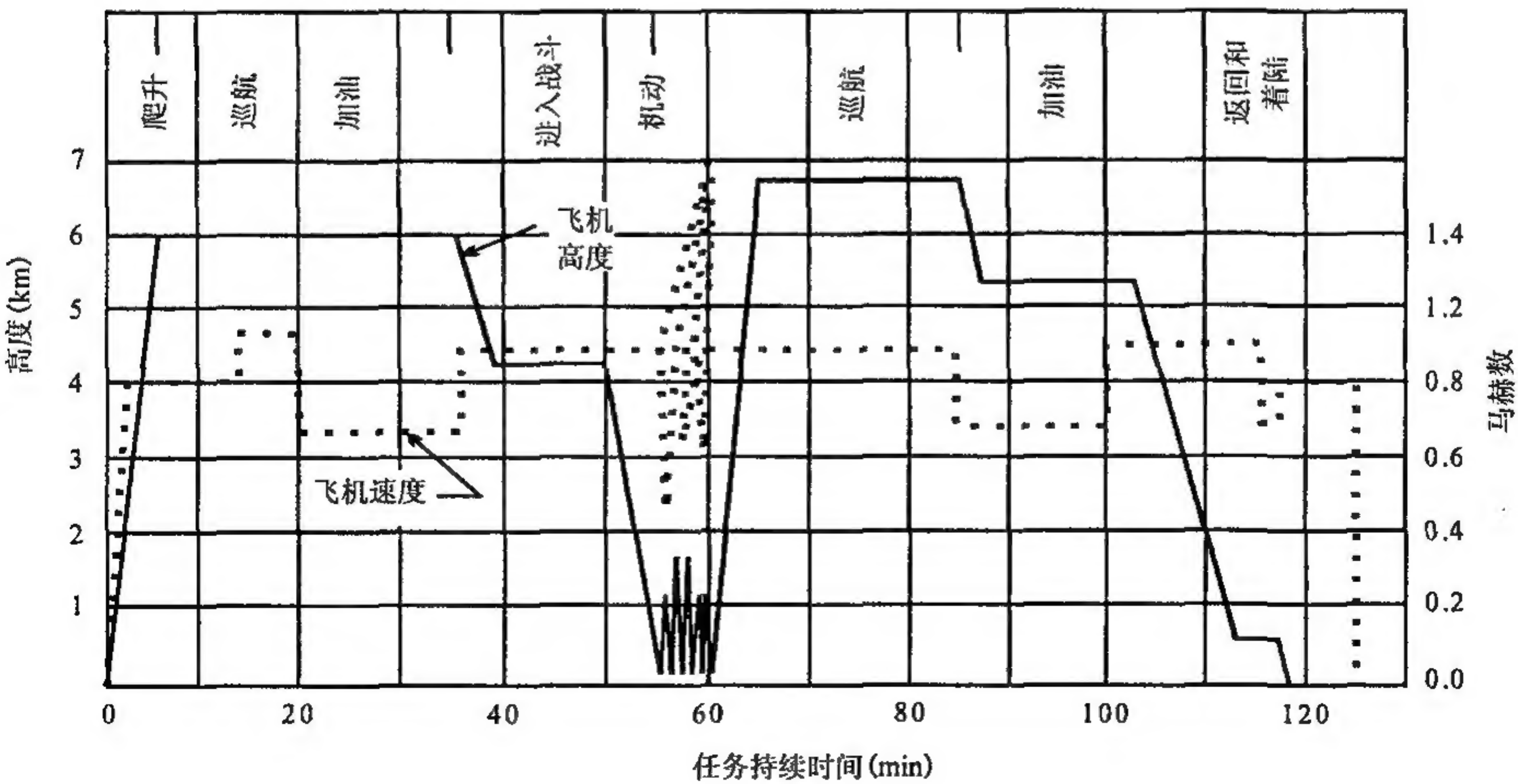


图 A. 2 典型的飞机任务剖面



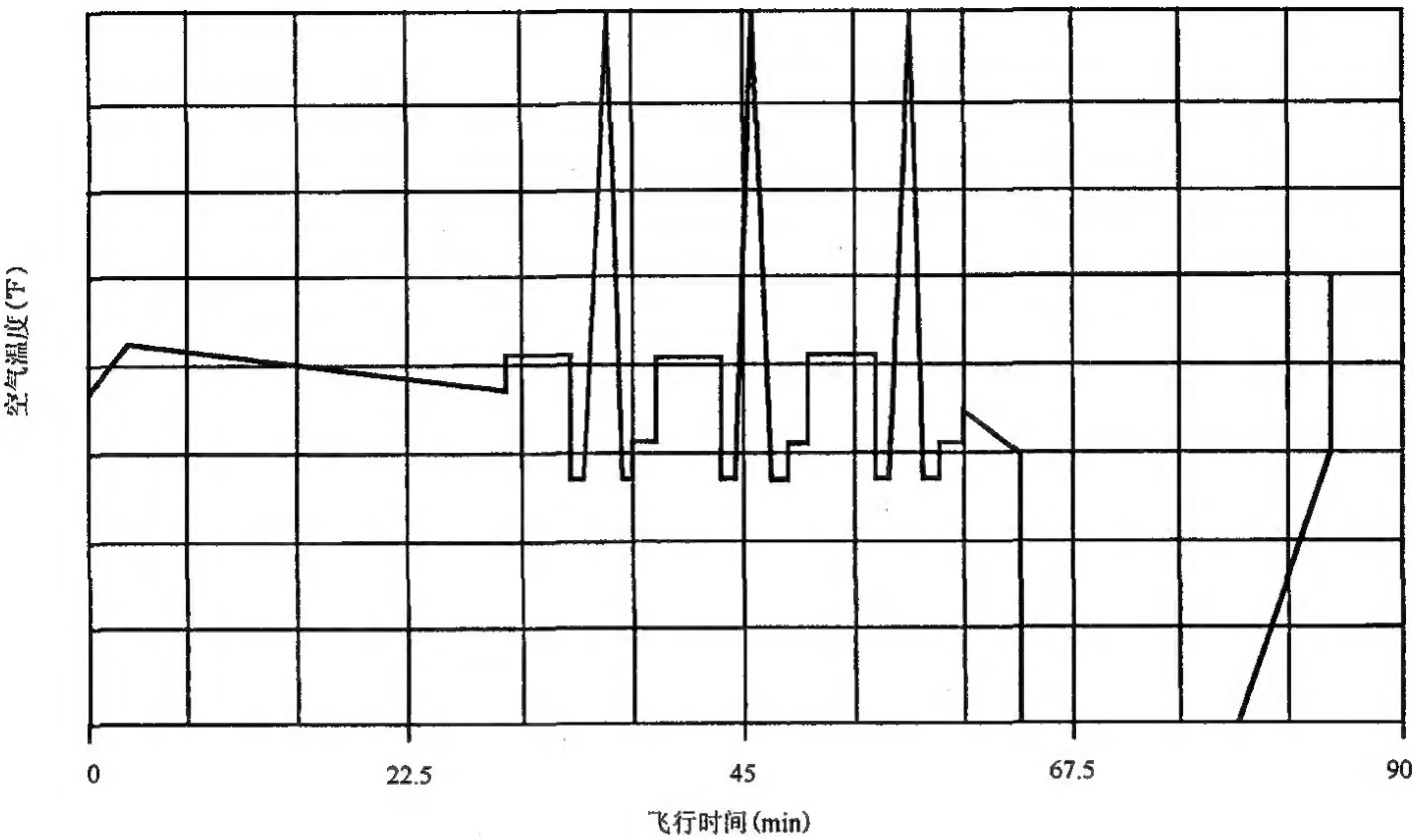


图 A. 3 单一任务类型的温度剖面

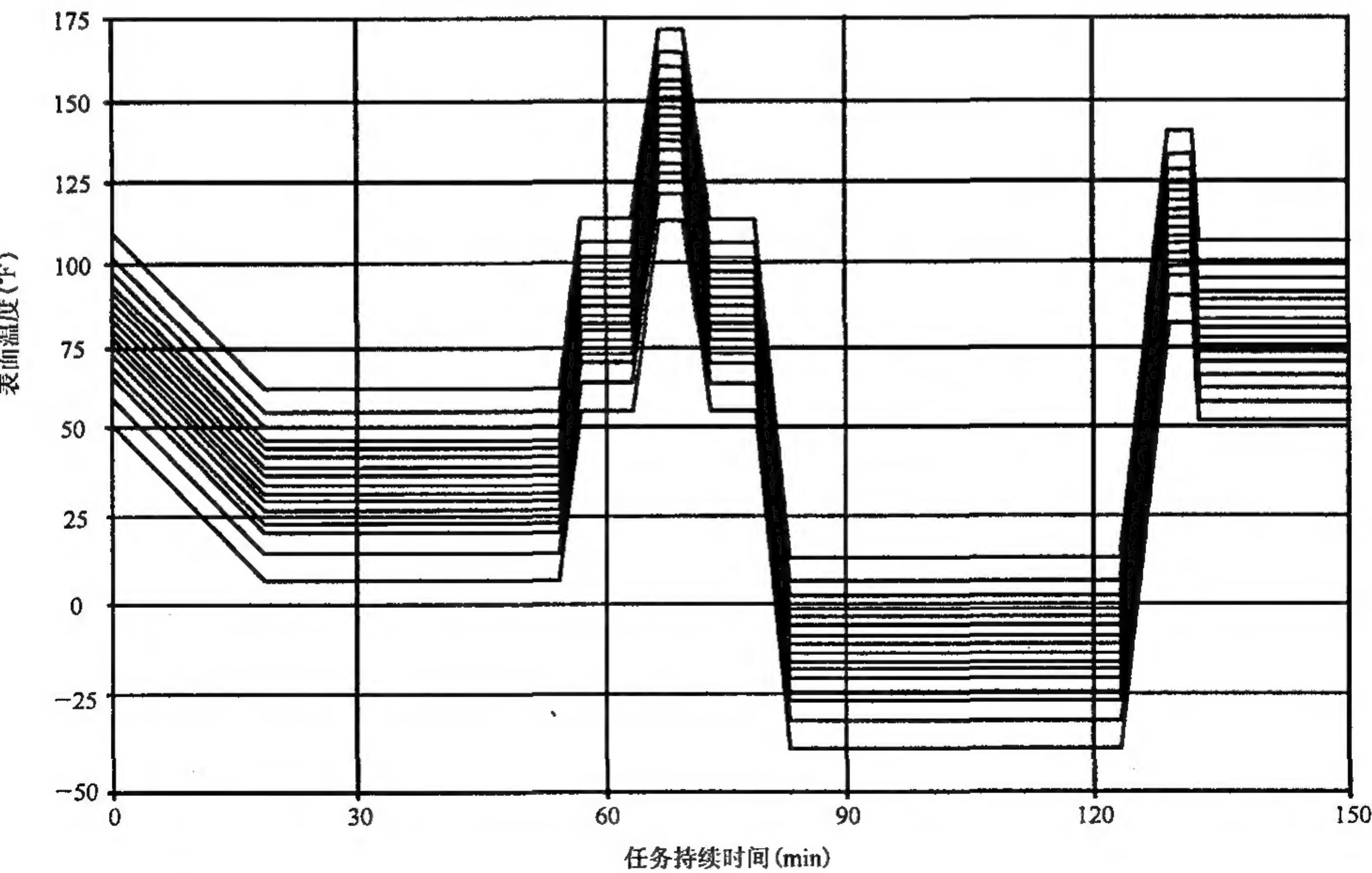


图 A. 4 合成任务中的一组气候的温度剖面



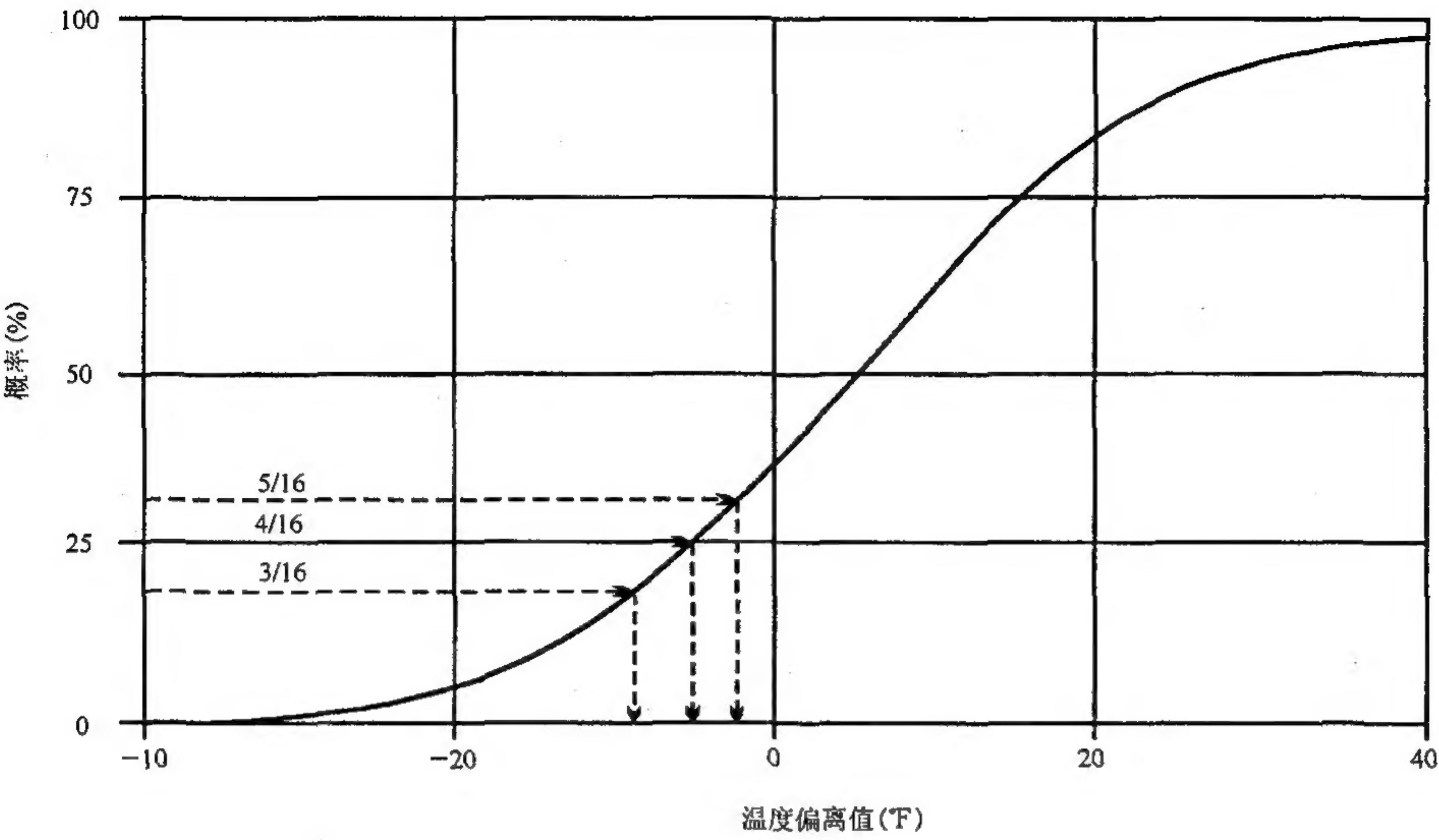


图 A. 5 从气候温度的累积分布中选择等概率温度

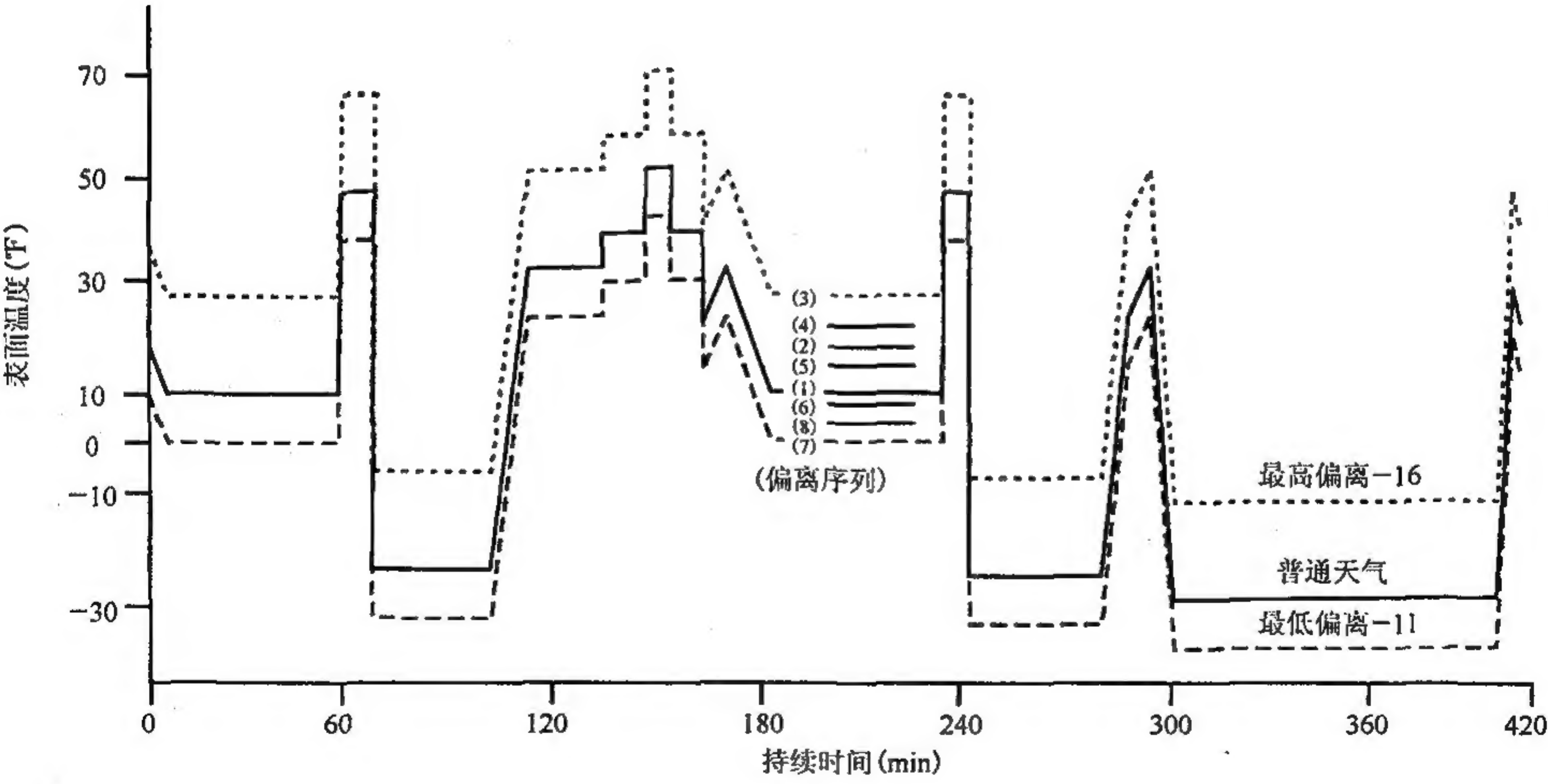


图 A. 6 表示温度偏离序列的气候组图



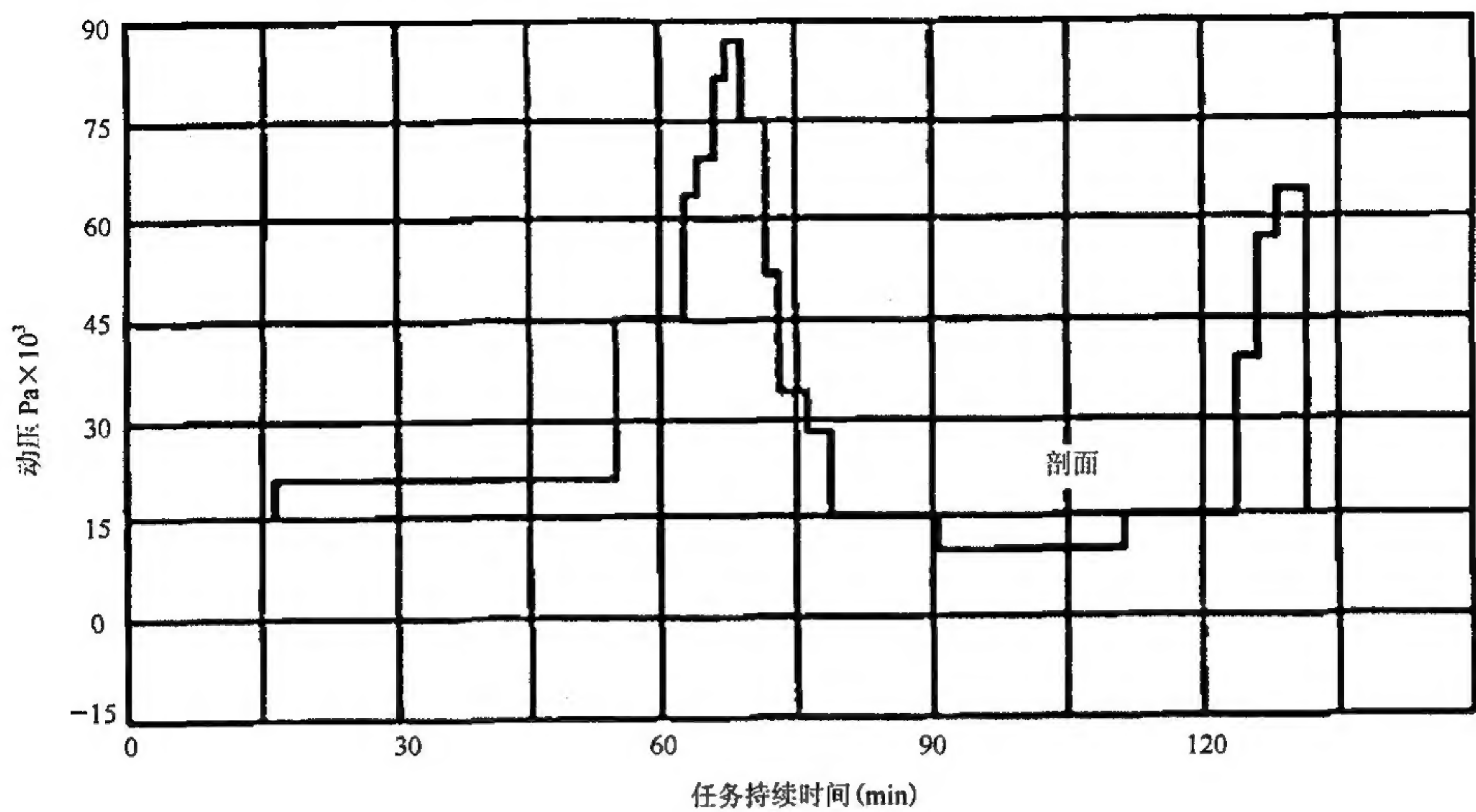


图 A. 7 合成任务中的动压  $q$  的剖面

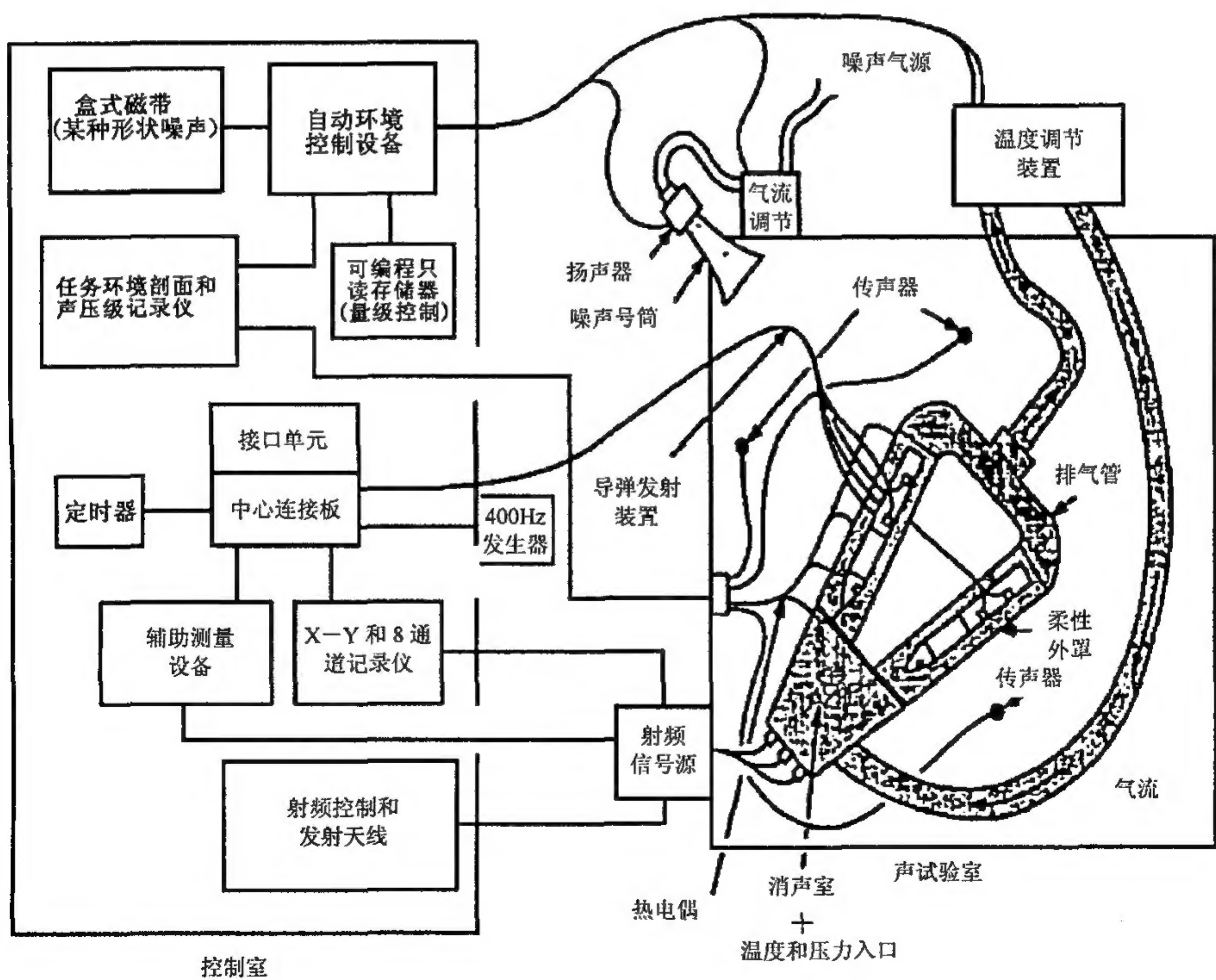


图 A. 8 试验装置的典型布置